昆虫种群生命表简化记录方法：以烟粉虱数据为例

郑晓敏[1]，齐 心[2,3]，褚 栋[1,*]

(1. 青岛农业大学农学与植物保护学院，山东省植物病虫害综合防控重点实验室，山东青岛 266109；2. 福建农林大学应用生态研究所，福州 350002；3. Department of Plant Production and Technologies, Agricultural Sciences and Technologies, Niğde University, Turkey 999042)

摘要：【目的】使昆虫两性生命表研究能省时省力地记录产卵量，同时维持分析的准确性。【方法】本研究以每日记录产卵量的烟粉虱 *Bemisia tabaci* MED 隐种(通常称为 Q 型)感染与未感染 *Cardinium* 的 2 个品系的原始数据为基础，将产卵量按照每 2，4 和 5 d 进行简化记录，以验证这种方法的有效性及其对种群参数的影响，并进行显著性分析。【结果】除成虫产卵前期(adult preoviposition period, APOP)和产卵天数受到影响外，简化记录方法对内禀增长率(intrinsic rate of increase, r)、周限增长率(finite rate of increase, λ)、净增殖率(net reproductive rate, R_0)、平均世代周期(mean generation time, T)、成虫前历期、繁殖力、雌雄虫寿命和总产卵前期(total preoviposition period, TPOP)均无显著性影响。【结论】结果说明，这种简化记录方法对生命表的主要参数无显著性影响，可用于生命表研究中以节省时间与劳力，并且减小每天检视可能对成虫造成的影响，有利于两性生命表的广泛应用。

关键词：烟粉虱；年龄-龄期两性生命表；产卵量；简化记录方法；种群参数

中图分类号：Q968 **文献标识码：**A **文章编号：**0454-6296(2016)06-0663-06

A simplified recording method for insect life table studies: a case study based on *Bemisia tabaci* (Hemiptera: Aleyrodidae) data

ZHENG Xiao-Min[1], CHI Hsin[2,3], CHU Dong[1,*] (1. Key Laboratory of Integrated Crop Pest Management of Shandong Province, College of Agronomy and Plant Protection, Qingdao Agricultural University, Qingdao, Shandong 266109, China; 2. Institute of Applied Ecology, Fujian Agriculture and Forestry University, Fuzhou 350002, China; 3. Department of Plant Production and Technologies, Agricultural Sciences and Technologies, Niğde University, Niğde 999042, Turkey)

Abstract: 【Aim】In order to save time and labor in life table studies and still to maintain the accuracy of the analyses involved, we tested the effects of changing the frequency of data sampling for two strains (infected and uninfected by *Cardinium*) of *Bemisia tabaci* MED cryptic species (commonly known as biotype Q) on their population parameters. 【Methods】Based on the raw data recorded daily, the simplified data of the sampling intervals of 2, 4 and 5 d were re-analyzed to test the significant differences between the treatments. 【Results】No significant differences between the treatments existed in the population parameters including the intrinsic rate of increase (r), finite rate of increase (λ), net reproductive rate (R_0), mean generation time (T), preadult duration, fecundity, female longevity, male longevity, and total preoviposition period (TPOP) obtained through daily sampling and the interval-grouped data, except the adult preoviposition period (APOP) and ovip osition days. 【Conclusion】Our results demonstrated that

基金项目：国家自然科学基金项目(31272105)；山东省现代农业产业技术体系创新团队项目(SDAIT-17-07)；泰山学者建设工程专项
作者简介：郑晓敏，女，1991 年生，山东淄博人，硕士研究生，研究方向为昆虫生态学，E-mail：zhengxiaomin5@163.com

* 通讯作者 Corresponding author, E-mail：chinachudong@qau.edu.cn
收稿日期 Received：2016-03-07；接受日期 Accepted：2016-05-22

the simplified recording method has no significant effects on the evaluation of the key population parameters and can be used in life table studies with less time and labor. In addition, the simplified recording method may decrease the interference to observed adults due to reduced daily observation. Consequently, the simplified method may be helpful to promote the application of the age-stage, two-sex life table.

Key words: *Bemisia tabaci*; age-stage two-sex life table; egg production; simplified recording method; population parameters

组建生命表是系统研究昆虫种群动态的一种重要方法(庞雄飞等, 1992)。在对昆虫种群的研究中,传统的生命表(Lewis, 1942; Leslie, 1945; Birch, 1948)以平均历期为依据,因为忽视了个体间发育速率的差异和龄期的差异而无法描述昆虫的龄期分化(stage differentiation),并且因为只考虑雌虫而必须用雌虫数的 2 倍来代表全体成虫的情况,无法正确计量雄虫的贡献,因而影响种群参数计算的准确性,不能很好地反映昆虫种群的实际动态(吴坤君等, 1994)。年龄-龄期两性生命表(age-stage, two-sex life table)改进了传统生命表(Chi and Liu, 1985; Chi, 1988),可以全面地统计和分析所有个体的生长发育、存活和生殖的情况,并能将个体间的差异和雄虫考虑在内,更准确地揭示昆虫种群的动态参数(Chi and Su, 2006; Huang and Chi, 2011)。近年来,年龄-龄期两性生命表在研究植物、温度、光照对昆虫生物学的影响(殷万东等, 2012; 赵静等, 2012; 曾菊平等, 2013),昆虫的食物选择性(程丽媛等, 2014; Zhang *et al*., 2015),农药对昆虫行为活动的影响(王坤等, 2014; Saska *et al*., 2016)等方面都得到了广泛应用。

在昆虫年龄-龄期两性生命表的研究中,一般要从刚产下的卵开始,每天系统记录每个个体的变化情况、各个龄期的存活及发育时间、成虫的产卵量与存活等。其中,对成虫产卵量的记录过程是最为繁琐的,因为有些昆虫的产卵量很大、寿命很长,每日计数且要更换饲育材料,这种方法费时费力;同时,由于频繁地打扰成虫(每日观察 1 次)可能对其生存与繁殖有不利的影响。因此,若能寻求一种省时省力且对种群参数无显著影响的产卵量记录方法,对于年龄-龄期两性生命表的应用将会起到重要的促进作用。

在计算一个种群的繁殖力时,是以每头雌虫一生中每日的产卵量为依据的。如果我们将每日观察雌虫产卵量,改为间隔数日观察 1 次,然后以平均每日产卵量代替该期间每日实际产卵量,这样不仅可以省时省力,而且减少了对成虫的干扰。但是我们必须先确定间隔数日的记录方法对种群参数是否有影响。为了检验简化记录方法对种群参数是否有影响,本研究以每日记录产卵量的烟粉虱 *Bemisia tabaci* MED 隐种(通常称为 Q 型)2 个品系的原始数据(Fang *et al*., 2014)为基础,首先将原始数据改为若干天总产卵量的平均值,相当于若干天记录 1 次产卵量,其他数据不变;然后,用年龄-龄期生命表软件分析比较了这种简化记录方法对各个种群参数的影响;结果表明,每 2, 4 和 5 d 观察的生命表简化记录方法对于揭示烟粉虱种群主要种群参数没有影响。

1 材料与方法

1.1 数据来源及转换

本研究所用原始数据来源于 Fang 等(2014)中烟粉虱 *B. tabaci* MED 隐种(通常称为 Q 型)感染 *Cardinium* 的品系(简称为 IC1)和未感染 *Cardinium* 的 2 个品系(简称为 UC1)。将原始数据 IC1 与 UC1 中雌虫每日产卵量转换为按 2 d 记录(简称为 IC2 和 UC2)、按 4 d 记录(简称为 IC4 和 UC4)与按 5 d 记录(简称为 IC5 和 UC5)的平均产卵量,保留 2 位小数;其他数据不变。

1.2 数据的运行

用 TWOSEX-MSChart(http://140.120.197.173/Ecology/download/Twosex-MSChart.rar)软件计算和分析原始数据。用 Bootstrap(Bootstrap 次数为 100 000)分别计算各组处理的生命表参数的方差(variance)和标准误(standard error)。

1.3 生命表参数的比较

先将两个品系原始数据(IC1 和 UC1)与简化记录方法数据(IC2, IC4 和 IC5,以及 UC2, UC4 和 UC5)分别运行出结果后,再运行成对自助检验法(paired bootstrap test)(Smucker *et al*., 2007),分别对 IC1, IC2, IC4 和 IC5 之间各个参数进行显著性分析,UC1, UC2, UC4 和 UC5 之间各个参数进行显著性分析,用 SigmaPlot 12.0 软件作图,以揭示简化记录方法对种群参数的影响。在前期研究中,以每

日记录产卵量的烟粉虱 2 个品系的原始数据在某些参数上存在显著性差异（Fang *et al.*，2014），因此本研究又进一步将 IC2 和 UC2 之间、IC4 和 UC4 之间以及 IC5 和 UC5 之间的各个参数进行了显著性分析，并与 IC1 和 IC2 原始数据各个参数差异进行了比较，以验证简化记录方法是否影响不同处理间的差异显著性。

2　结果与分析

2.1　生命表原始记录方法与简化记录方法所获烟粉虱种群参数的比较

IC1 与 IC2，IC4 和 IC5 之间，以及 UC1 与 UC2，UC4 和 UC5 之间的内禀增长率（intrinsic rate of increase，*r*）、周限增长率（finite rate of increase，λ）、净增殖率（net reproductive rate，R_0）和平均世代周期（mean generation time，*T*）均无显著性差异（图 1），成虫前历期、繁殖力、雌虫寿命、雄虫寿命和总产卵前期（total preoviposition period，TPOP）也无显著性差异（表 1）。但是，在成虫产卵前期（adult preoviposition period，APOP）和产卵天数这 2 个参数中，原始记录方法数据与简化记录方法数据间出现显著性差异。其中，在成虫产卵前期（APOP）这一参数中，感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始数据（即 IC1）与简化记录数据 IC2，IC4 和 IC5 之间都有显著性差异；未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始数据（即 UC1）与 UC2 无显著性差异，与 UC4 和 UC5 有显著性差异。在成虫产卵天数这一参数中，感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始数据（即 IC1）与 IC2，IC4 和 IC5 都有显著性差异；未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始数据（即 UC1）与 UC2，UC4 和 UC5 也都有显著性差异（表 1）。

2.2　生命表简化记录方法对两个品系间种群参数差异比较的影响

原始每日记录数据分析所得的内禀增长率（*r*）、周限增长率（λ）、净增殖率（R_0）在 IC1 和 UC1 间都有显著性差异，仅两者的平均世代周期（*T*）没有显著性差异；简化记录数据（即 IC2 和 UC2，IC4 和

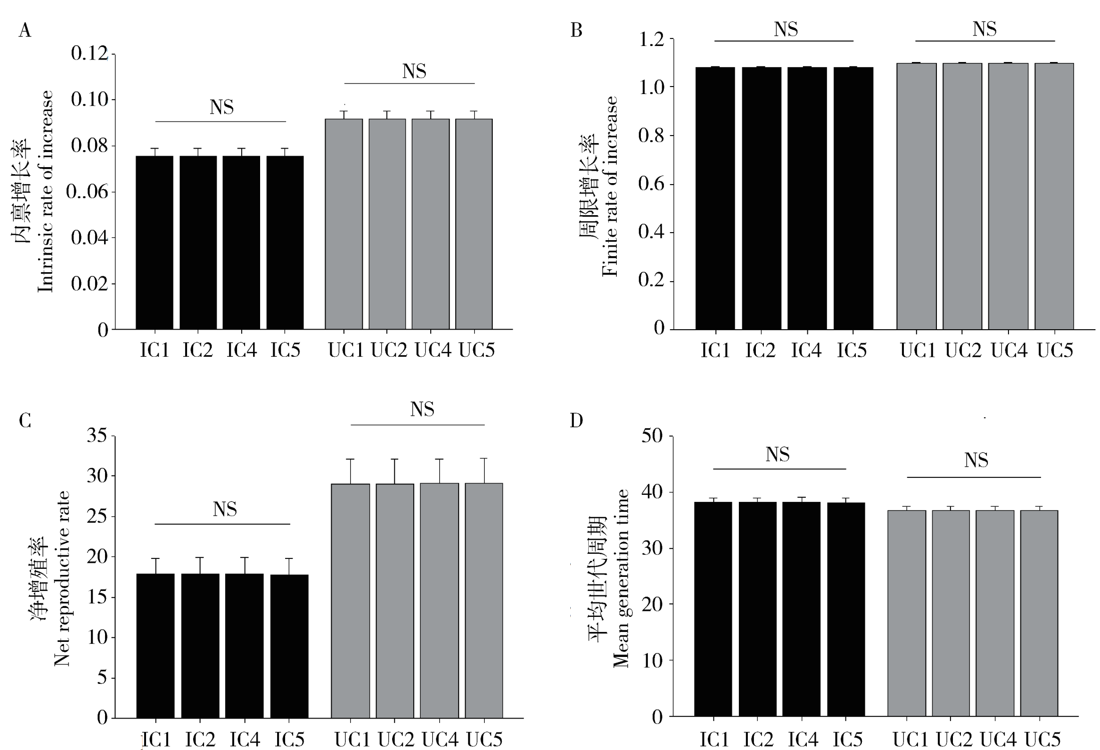


图 1　基于原始每日记录数据与简化记录方法数据的烟粉虱种群参数差异比较

Fig. 1　Comparison of population parameters based on daily raw data and simplified data of *Bemisia tabaci*

IC1：感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据 Daily raw data of *B. tabaci* strain infected by *Cardinium*；IC2，IC4，IC5：感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据分别转换为按 2，4 和 5 d 记录的数据 Transformed data from daily raw data of *B. tabaci* strain infected by *Cardinium* at the sampling intervals of 2，4 and 5 d，respectively；UC1：未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据 Daily raw data of *B. tabaci* strain without *Cardinium* infection；UC2，UC4，UC5：未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据分别转换为按 2，4 和 5 d 记录的数据 Transformed data from daily raw data of *B. tabaci* strain without *Cardinium* infection at the sampling intervals of 2，4 and 5 d，respectively. 图中数据为平均值 ± 标准误，采用成对自助检验法进行差异显著性检验，双星号表示在 0.05 水平上差异显著，而 NS 表示差异不显著。图 2 同。Data in the figure are mean ± *SE*，double asterisks above bars indicate significant difference and NS represents no significant difference at the 5% significance level（paired bootstrap test）. The same for Fig. 2.

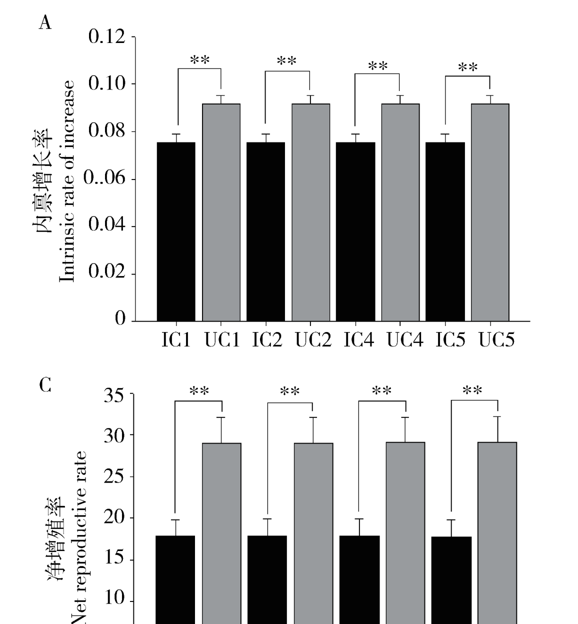
表 1 基于原始每日记录数据与简化记录方法数据对同一烟粉虱品系的种群参数差异比较

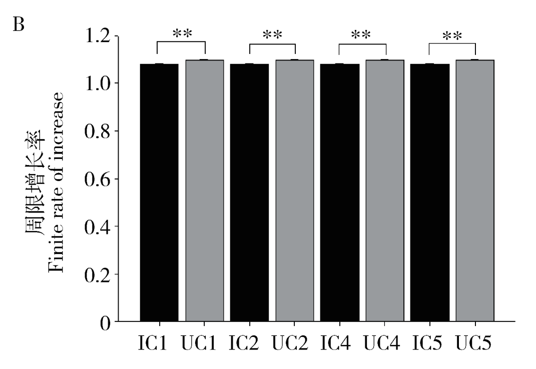
Table 1 Comparison of population parameters of a *Bemisia tabaci* strain based on daily raw data and simplified data

参数 Parameter	感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系 *B. tabaci* strain infected by *Cardinium*				未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系 *B. tabaci* strain without *Cardinium* infection			
	IC1	IC2	IC4	IC5	UC1	UC2	UC4	UC5
成虫前历期(d) Preadult duration	28.97 ±0.43 a	28.97 ±0.44 a	28.97 ±0.43 a	28.97 ±0.43 a	26.30 ±0.53 a	26.30 ±0.53 a	26.30 ±0.53 a	26.30 ±0.53 a
繁殖力(单雌产卵量) Fecundity (number of eggs laid per female)	60.35 ±3.75 a	60.36 ±3.74 a	60.35 ±3.75 a	60.35 ±3.75 a	68.12 ±4.41 a	68.12 ±4.41 a	68.16 ±4.41 a	68.12 ±4.43 a
雌虫寿命(d) Female longevity	29.78 ±1.06 a	29.79 ±1.06 a	29.79 ±1.06 a	29.78 ±1.06 a	33.36 ±1.51 a	33.38 ±1.51 a	33.37 ±1.51 a	33.37 ±1.51 a
雄虫寿命(d) Male longevity	29.94 ±1.24 a	29.94 ±1.23 a	29.94 ±1.23 a	29.93 ±1.23 a	30.36 ±1.29 a	30.37 ±1.30 a	30.37 ±1.29 a	30.36 ±1.30 a
总产卵前期(d) TPOP	29.23 ±0.65 a	28.90 ±0.65 a	28.60 ±0.62 a	28.61 ±0.62 a	28.07 ±0.68 a	27.84 ±0.67 a	27.60 ±0.65 a	27.56 ±0.66 a
成虫产卵前期(d) APOP	0.68 ±0.10 a	0.35 ±0.10 b	0.05 ±0.05 c	0.07 ±0.07 c	0.56 ±0.11 a	0.33 ±0.09 a	0.09 ±0.06 b	0.06 ±0.06 b
产卵天数(d) Oviposition days	18.24 ±0.85 c	22.84 ±0.95 b	25.53 ±0.96 a	26.05 ±0.99 a	20.19 ±0.99 c	24.59 ±1.12 b	28.11 ±1.19 a	28.57 ±1.21 a

IC1：感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据 Daily raw data of *B. tabaci* strain infected by *Cardinium*; IC2, IC4, IC5：感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据分别转换为按 2, 4 和 5 d 记录的数据 Transformed data from daily raw data of *B. tabaci* strain infected by *Cardinium* at the sampling intervals of 2, 4 and 5 d, respectively ; UC1：未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据 Daily raw data of *B. tabaci* strain without *Cardinium* infection; UC2, UC4, UC5：未感染 *Cardinium* 的烟粉虱品系原始每日记录数据分别转换为按 2, 4 和 5 d 记录的数据 Transformed data from daily raw data of *B. tabaci* strain without *Cardinium* infection at the sampling intervals of 2, 4 and 5 d, respectively. TPOP：总产卵前期 Total preoviposition period; APOP：成虫产卵前期 Adult preoviposition period. 表中数据表示平均值 ± 标准误,同一行数据后不同小写字母表示差异显著($P<0.05$)(成对自助检验法),表 2 同。Data in the table are mean ± *SE*. Means within a row sharing different letters are significantly different at the 5% significance level (paired bootstrap test). The same for Table 2.

和 UC4,以及 IC5 和 UC5)分析所得的这些参数的差异与原始数据分析结果是一致的(图 2)。此外,原始每日记录数据与简化记录方法数据的品系间的成虫前历期、繁殖力、雌虫寿命、雄虫寿命和总产卵前期(TPOP)的差异也是一致的(表 2)。由于成虫产卵前期(ATOP)和产卵天数的简化记录方法数据已经发生变化(详见 2.1 节),因此没有进一步分析两品系间这些参数的显著性差异。





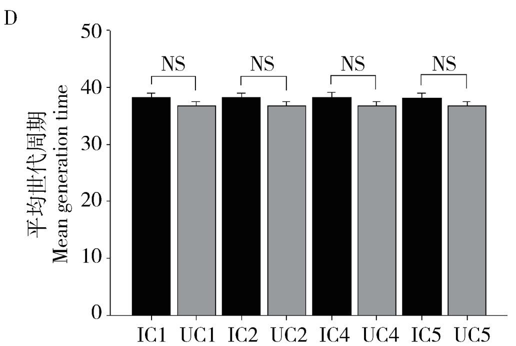


图 2 基于原始每日记录数据与简化记录方法数据对烟粉虱 2 个品系种群参数差异比较

Fig. 2 Comparison of population parameters between two strains of *Bemisia tabaci* based on daily raw data and simplified data

表 2　基于原始每日记录数据与简化记录方法数据的烟粉虱 2 个品系种群参数比较

Table 2　Comparison of population parameters between two strains of *Bemisia tabaci* based on daily raw data and simplified data

参数 Parameter	IC1	UC1	IC2	UC2	IC4	UC4	IC5	UC5
成虫前历期(d) Preadult duration	28.98 ±0.43 a	26.30 ±0.53 b	28.97 ±0.44 a	26.30 ±0.53 b	28.97 ±0.43 a	26.30 ±0.53 b	28.97 ±0.43 a	26.30 ±0.53 b
繁殖力(单雌产卵量) Fecundity (number of eggs laid per female)	60.35 ±3.75 a	68.13 ±4.41 a	60.36 ±3.74 a	68.12 ±4.41 a	60.35 ±3.75 a	68.16 ±4.41 a	60.35 ±3.75 a	68.12 ±4.43 a
雌虫寿命(d) Female longevity	29.78 ±1.06 a	33.36 ±1.51 a	29.79 ±1.06 a	33.38 ±1.51 a	29.79 ±1.06 a	33.37 ±1.51 a	29.78 ±1.06 a	33.37 ±1.51 a
雄虫寿命(d) Male longevity	29.94 ±1.24 a	30.36 ±1.29 a	29.94 ±1.23 a	30.37 ±1.30 a	29.94 ±1.23 a	30.37 ±1.29 a	29.93 ±1.23 a	30.36 ±1.30 a
总产卵前期(d) TPOP	29.22 ±0.65 a	28.07 ±0.68 a	28.90 ±0.65 a	27.84 ±0.67 a	28.60 ±0.62 a	27.60 ±0.65 a	28.61 ±0.62 a	27.56 ±0.66 a

3　讨论

内禀增长率(r)，周限增长率(λ)，净增殖率(R_0)，平均世代周期(T)是评价昆虫种群生物学特性的重要指标(Tsai and Wang, 2001)。内禀增长率(r)是指在生物因子和非生物因子稳定且完全排除了其他物种影响时种群的最大增长率，它综合考虑了种群的出生率和死亡率、种群的年龄组配、繁殖力及发育速度等诸多因素，因此能敏感地反映出各种因素对种群的综合影响；周限增长率(λ)为 e^r；净增殖率(R_0)为一个个体一生所产的总后代数；平均世代周期(T)是当一个种群达到稳定年龄-龄期分布和稳定增长速度(即 r 和 λ)时，增加 R_0 倍所需要的时间。本研究用 TWOSEX-MSChart 软件中成对自助检验法(paired bootstrap test)比较和分析基于每日记录产卵量方法和基于简化记录方法的主要种群参数的异同，我们分析结果显示：简化记录方法对烟粉虱种群重要指标 r, λ, R_0 和 T 均无显著性影响，对成虫前历期、繁殖力、雌虫寿命、雄虫寿命和总产卵前期(TPOP)也无显著性影响，但对成虫产卵前期(APOP)和产卵天数有显著性影响。

Chi(1988)证明净增殖率(R_0)与平均繁殖率(F)的关系为：$R_0 = F \cdot (N_f/N)$，其中 N 为生命表实验虫数，N_f 为 N 中的雌虫数。理论上，每头雌虫的产卵量不应因观察间隔时间而改变，因此每日或间隔数日记录的平均繁殖率(F)也应都相同，所以理论上 R_0 也必须相同；不同间隔时间的 R_0 有微小的差异是四舍五入的结果。但是，间隔数日记录产卵量则会对成虫产卵前期(APOP)和产卵天数造成影响。举例而言，每日记录可以有准确的产卵记录，4 d的产卵量可能为 0, 0, 3 和 4，但每 4 d 记录后再用平均产卵量，则记录变成 1.75, 1.75, 1.75 和 1.75，这种结果造成产卵天数增加而成虫产卵前期(APOP)缩短，对总产卵前期(TPOP)也会相对缩短，但无显著性影响(表 1)。此论证与 Gabre 等(2005)所指出 TPOP 较 APOP 能正确反映开始繁殖期对种群参数的影响的观点一致。

在生命表中，一个种群繁殖力的大小是由雌性个体产卵量的多少和寿命决定的。原始每日记录产卵量的方法耗费大量的人力和时间，且每天用吸虫器转移成虫可能会导致其死亡，间隔数日记录产卵量能减少人为因素对种群的干扰，使得出的数据更接近自然状态的情况。对于烟粉虱，我们采取 2, 4 和 5 d 记录 1 次产卵量是因为适温下它的卵期大于 5 d(符伟等, 2008)，且 2, 4 和 5 是可将任意数除尽的数字，避免了求平均数时带有无限小数而四舍五入使数据不精确的情况。这种简化记录方法不宜用在寿命短的昆虫，因为昆虫开始产卵的年龄对 r 值的影响很大(Lewontin, 1965)。若成虫前期短于 10 d，合并记录对 r 与 λ 的影响较大。使用简化记录的方法，必需根据昆虫的实际卵期选择记录产卵量的间隔时间。不宜用太长的间隔时间，若记录间隔时间比卵期长，可能使产下的卵在观察前就孵化成幼虫而逃逸。如异色瓢虫 *Harmonia axyridis* 的卵期为 2.67 d(赵静等, 2012)，大草蛉 *Chrysopa pallens* 的卵期为 3.4 d(程丽媛等, 2014)，可以用较短时间(如 2 d)记录 1 次产卵量。而像猫眼尺蠖 *Problepsis superans*、马尾松毛虫 *Dendrolimus punctatus*、苹果全爪螨 *Panonychus ulmi* 等的卵期都较长(殷万东等, 2012; 曾菊平等, 2013; 胡良雄等, 2014)，可以间隔 4 d 或 5 d 记录 1 次产卵量。卵期与成虫前历期更长的或许还可以更长时间，例如 10 d 记录 1 次，但是必须实际依据资料验证。具体记录卵的间隔时

间还要依据昆虫的生物学特点而定。

综上所述,生命表使用简化记录方法,对产卵有关的种群参数有影响(对 APOP 和产卵天数影响较大,对 TPOP 也可能会有影响),但仍然可以精确地获得其他主要的种群参数,也不会影响处理间的差异分析,有利于两性生命表方法的推广应用。近期,我们采用这种方法对灰飞虱 *Laodelphax striatellus* 在不同水稻品种上种群参数,以及对烟粉虱不同品系种群参数进行了研究(本实验室未发表数据),结果表明这种方法可以大大降低劳动量,省时省力。

参考文献(References)

Birch LC, 1948. The intrinsic rate of natural increase in an insect population. *J. Anim. Ecol.*, 17: 15 -26.

Cheng LY, Liao XJ, Xu LX, Sun L, Chen ZZ, Xu YY, 2014. Two-sex life table and predation of *Chrysopa pallens* (Rambur) feeding on *Megoura japonica* (Matsumura). *Acta Phytophylacica Sinica*, 41 (6): 680 -686. [程丽媛, 廖先骏, 徐龙祥, 孙蕾, 陈珍珍, 许永玉, 2014. 以豌豆修尾蚜为猎物的大草蛉两性生命表和捕食率. 植物保护学报, 41(6): 680 -686]

Chi H, 1988. Life-table analysis incorporating both sexes and variable development rates among individuals. *Environ. Entomol.*, 17(1): 26 -34.

Chi H, Liu H, 1985. Two new methods for the study of insect population ecology. *Bull. Inst. Zool. Acad. Sin.*, 24(2): 225 -240.

Chi H, Su HY, 2006. Age-stage, two-sex life tables of *Aphidius gifuensis* (Ashmead) (Hymenoptera: Braconidae) and its host *Myzus persicae* (Sulzer) (Homoptera: Aphididae) with mathematical proof of the relationship between female fecundity and the net reproductive rate. *Environ. Entomol.*, 35(1): 10 -21.

Fang YW, Liu LY, Zhang HL, Jiang DF, Chu D, 2014. Competitive ability and fitness differences between two introduced populations of the invasive whitefly *Bemisia tabaci* Q in China. *PLoS ONE*, 9(6): e100423.

Fu W, Xu BY, Wu QJ, Wang SL, Zhu GR, Zhang YJ, 2008. Effects of host plant on development and reproduction of B biotype *Bemisia tabaci*. *Plant Protection*, 34(5): 63 -66. [符伟, 徐宝云, 吴青君, 王少丽, 朱国仁, 张友军, 2008. 寄主植物对 B 型烟粉虱个体发育和种群繁殖的影响. 植物保护, 34(5): 63 -66]

Gabre RM, Adham FK, Chi H, 2005. Life table of *Chrysomya megacephala* (Fabricius) (Diptera: Calliphoridae). *Acta Oecol.*, 27: 179 -183.

Huang YB, Chi H, 2011. The age-stage, two-sex life table with an offspring sex ratio dependent on female age. *J. Agri. Fore.*, 60(4): 337 -345.

Hu LX, He ZS, Zhang XG, 2014. Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *Problesis superans* (Lepidoptera: Geometridae) on three *Ligustrum* species. *Acta Entomologica Sinica*, 57(12): 1408 -1417. [胡良雄, 何正盛, 张小谷, 2014. 猫眼尺蠖在三种女贞属植物上的实验种群两性生命表. 昆虫学报, 57(12): 1408 -1417]

Leslie PH, 1945. On the use of matrices in certain population mathematics. *Biometrika*, 33(3): 183 -212.

Lewis EG, 1942. On the generation and growth of a population. *Sankhyā*, 6: 93 -96

Lewontin RC, 1965. Selection for colonizing ability. In: Baker HG, Stebbins GL eds. The Genetics of Colonizing Species. Academic Press, San Diego, CA. 77 -94.

Pang XF, Hou RH, Bao HL, 1992. Method to construct the natural life table of *Nilaparvata lugens* (Stål). *J. South China Agr. Univ.*, 13 (1): 1 -5. [庞雄飞, 侯任环, 包华理, 1992. 褐稻虱自然种群生命表的组建方法. 华南农业大学学报, 13(1): 1 -5]

Saska P, Skuhrovec J, Lukáš J, Chi H. Tuan SJ, Honěk A, 2016. Treatment by glyphosate-based herbicide alters life history parameters of the rose-grain aphid *Metopolophium dirhodum*. *Sci. Rep.*, 6: 27801.

Smucker MD, Allan J, Carterette B, 2007. A comparison of statistical significance tests for information retrieval evaluation. In: Proceedings of the Sixteenth ACM Conference on Information and Knowledge Management. Lisbon, Portugal. 623 -632.

Tsai JH, Wang JJ, 2001. Effects of host plants on biology and life table parameters of *Aphis spiraecola* (Homoptera: Aphididae). *Environ. Entomol.*, 30(1): 45 -50.

Wang K, Wang S, Song LF, Zhang F, Li YD, 2014. Sublethal effects of acetamiprid and beta-cypermethrin on reproduction of *Trichogramma chilonis*. *Journal of Environmental Entomology*, 36(6): 933 -938. [王坤, 王甦, 宋丽芳, 张帆, 李永丹, 2014. 高效氯氰菊酯和啶虫脒对螟黄赤眼蜂繁殖的亚致死效应. 环境昆虫学报, 36 (6): 933 -938]

Wu KJ, Gong PY, Li XZ, He J, 1994. The age-stage-specific life table of the armyworm, *Mythimna separata* (Walker). *Acta Entomologica Sinica*, 37(4): 426 -434. [吴坤君, 龚佩瑜, 李秀珍, 何剑, 1994. 粘虫的年龄-发育期结构生命表. 昆虫学报, 37(4): 426 -434]

Yin WD, Yan WT, Qiu GS, Zhang HJ, Ma CS, 2012. Age-stage two-sex life tables of the experimental population of *Panonychus ulmi* (Acari: Tetranychidae) on apples *Malus sieversii* subsp. *kirghisorum* and *M. domestica* Golden Delicious. *Acta Entomologica Sinica*, 55(10): 1230 -1238. [殷万东, 闫文涛, 仇贵生, 张怀江, 马春森, 2012. 苹果全爪螨在吉尔吉斯与金冠苹果上的实验种群两性生命表. 昆虫学报, 55(10): 1230 -1238]

Zeng JP, Ou YF, Wang Y, Liu XP, 2013. Responses of a high altitude population of *Dendrolimus punctutas* to different photoperiods. *Chinese Journal of Applied Entomology*, 50(4): 1077 -1084. [曾菊平, 欧阳芳, 王勇, 刘兴平, 2013. 马尾松毛虫高海拔种群发生对光周期的响应:基于年龄-时期、两性生命表分析. 应用昆虫学报, 50(4): 1077 -1084]

Zhang P, Liu F, Mu W, Wang QH, Li H, 2015. Comparison of *Bradysia odoriphaga* Yang and Zhang reared on artificial diet and different host plants based on an age-stage, two-sex life table. *Phytoparasitica*, 43: 107 -120.

Zhao J, Chen ZZ, Zheng FQ, Zhang F, Yin XC, Xu YY, 2012. Effects of cold acclimation on developmental characteristics and fitness of *Harmonia axyridis* (Coleoptera: Coccinellidae) offsprings. *Acta Entomologica Sinica*, 55(7): 810 -815. [赵静, 陈珍珍, 郑方强, 张帆, 印象初, 许永玉, 2012. 冷驯化对异色瓢虫后代生长发育及适合度的影响. 昆虫学报, 55(7): 810 -815]

(责任编辑: 赵利辉)